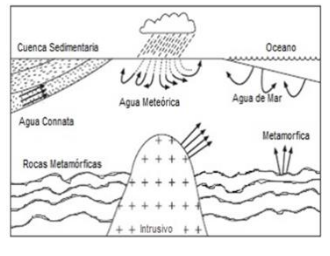
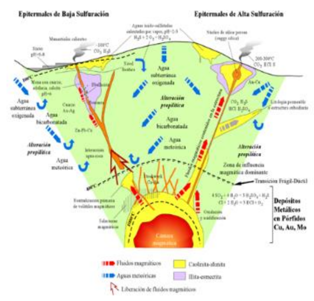
Análisis de los Yacimientos de Telururos en México

P.C. Santos-Munguía*[1], F. Nava-Alonso[1], O. Alonso-González[2]. [1]CINVESTAV Unidad Saltillo Avenida Industria Metalúrgica 1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe Ramos Arizpe, Coahuila 25900 México. [2]Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Ingeniería, Av. López Velarde 801, Zacatecas, Zacatecas 98040, México. *cristina.santos@cinvestav.mx.

.

ABSTRACT





RESUMEN

El teluro es un elemento escaso en la tierra. Su concentración es baja en la corteza terrestre pero su amplia gama de aplicaciones, que van desde celdas solares, aleaciones, y pinturas hasta la medicina, hace que este elemento tome cada día mayor interés. Existen varios tipos de yacimientos que contienen telururos, principalmente de origen hidrotermal; algunos de estos depósitos se encuentran en producción y son los proveedores principales de este metaloide, sin embargo, México debe importar teluro para satisfacer sus necesidades, ya que solo puede recuperar un poco de los lodos anódicos del proceso de electrorefinación del cobre. A pesar de que México cuenta con varios yacimientos de teluro y telururos únicos en el mundo, hasta el momento éste no se ha podido recuperar de manera eficiente, quedándose en las presas de jales o terreros. Un aspecto relevante del teluro es que frecuentemente se encuentra asociado a metales preciosos, complicando el método de recuperación del oro y/o la plata y disminuyendo la eficiencia de extracción de éstos metales. Este trabajo presenta una revisión de los yacimientos de teluro y especies de telururos en México.

Palabras clave: Depósitos de teluros, Teluros, Telururos de oro y plata, Yacimientos epitermales.

Introducción

El presente trabajo es un resumen de la información sobre los depósitos de teluro y telururos en México, y más específicamente en Sonora, lugar en el que se han reportado depósitos con una concentración de hasta 1 a 2 kg por tonelada de mineral (Gaines, 1965). Los depósitos en los cuales se ha encontrado la mayor cantidad de teluro nativo y telururos son los yacimientos hidrotermales de tipo epitermal. La importancia de estas especies se ha incrementado a partir del surgimiento de nuevas aplicaciones del teluro; así como también debido a su reciente aparición asociado a los metales preciosos en gran número de yacimientos en México. Es importante mencionar que la presencia de teluro en los yacimientos de oro y plata representa un problema para el beneficio de éstos ya que se ha reportado que los telururos de metales preciosos son refractarios al cianuro.

Historia

El teluro fue descubierto en 1782 en las minas de oro de Nagyág, Transilvania, por Franz Joseph Müller von Reichenstein, inspector de minas en Transilvania, Rumania. En un principio fue confundido con el antimonio, pero los resultados de más de 50 pruebas durante tres años demostraron que era un elemento desconocido. Con el objetivo de identificarlo Müller envió una muestra a Torbern Bergman, considerado el mayor químico en ese tiempo, quien el 13 de abril de 1784 le contestó solicitando una muestra mayor, ya que concordaba con él en que era una especie desconocida. Bergman murió unos meses después sin concluir la identificación, y no fue sino hasta 12 años más tarde

que Müller envió una muestra a Martin Heinrich Klaproth, líder de la química analítica en Alemania, quien analizó y confirmo el descubrimiento de un nuevo metal el 25 de enero de 1798 en la academia de ciencias de Berlín. Klaproth lo nombró teluro, del griego Tellus que significa tierra y menciono que el descubridor original era Müller von Reichenstein (Weeks, 1935).

Propiedades Químicas

El teluro (Te), es un elemento químico de tipo metaloide, con número atómico 52 y peso atómico 127.61 g/mol, cuyos estados de oxidación son: ± 2, +4, +6. Tiene un punto de fusión de 452 °C, un punto de ebullición de 990 °C y una densidad de 6.25 g/cm^3; se encuentra en el grupo 16 y el periodo 5 de la tabla periódica de los elementos (Sharpe, 1993). Se conocen aproximadamente 140 especies de telururos entre los cuales el 60% pertenecen a elementos de transición, 15% a metales alcalinos y alcalinotérreos, 7% al grupo del cobre, 2% a los elementos del zinc y 15% a los metaloides (Chizhikov, 1970).

En términos de abundancia relativa en la corteza terrestre, el teluro es uno de los elementos más raros, con una concentración menor a 0.002 ppm, es decir, mucho menor que el berilio, germanio o el oro. Parece presentarse universalmente en huellas en los depósitos cupríferos, y, dado que tiende a concentrarse con el cobre en los procesos de beneficio y de fundición de este metal, el teluro se recupera en los lodos anódicos producidos en la refinación del cobre, a pesar que su contenido inicial en la mena probablemente no pasa de 0.2 a 0.5 g por tonelada (Gaines, 1965).

Usos

Actualmente el teluro se utiliza en la producción de celdas solares y como elemento aleante en las aleaciones de acero para mejorar las características del mecanizado. También se emplea en aleaciones de cobre para mejorar la maquinabilidad sin reducir la conductividad, en aleaciones de plomo para mejorar la resistencia a la vibración y la fatiga, en hierro fundido para mejorar las propiedades de conducción de calor, y en hierro maleable como carburo estabilizador. En la industria química tiene aplicaciones como agente de vulcanización, en el procesamiento de caucho como acelerador, en la producción de fibra sintética como componente de catalizadores, en la industria de la cerámica y el vidrio como fotorreceptor y pigmento, y en medicina como antiviral, antimicrobiano y antiinflamatorio (US Geological Survey, 2015; Tiekink, 2012).

México actualmente no cuenta con un proceso de beneficio del teluro que tiene en sus yacimientos y tiene que importarlo. El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) reporta que en el año 2013 se exportaron a México alrededor de 2 toneladas de mineral de teluro, provenientes de EUA (Anderson, 2015).

Ambiente Geoquímico de Ocurrencia

El teluro se encuentra en depósitos de sulfuros masivos vulcanogéneticos (VMS), pórfidos de Au(Cu), Skarn de Au, y, principalmente, en yacimientos hidrotermales (Cook, 2009). En los yacimientos hidrotermales estos depósitos se forman a partir de soluciones magmáticas, agua de mar, agua meteórica y aguas connatas, o de una mezcla de dos o más de estas soluciones. El tipo de solución dependerá de la profundidad en la corteza además y de la temperatura (Robb, 2004). La Figura 1 presenta los diferentes tipos de soluciones que existen cerca de la corteza terrestre.

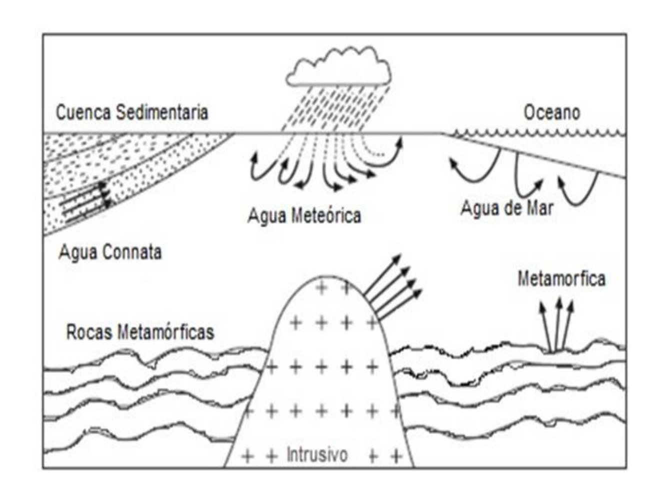


Figura 1.- Diferentes tipos de soluciones que existen cerca de la superficie terrestre (Robb, 2004).

Los depósitos hidrotermales se dividen en tres grandes tipos: hipotermales, los cuales se formaron a grandes profundidades (mayores a 4500 metros) y temperaturas entre 400 y 600ºC; los mesotermales, formados a profundidades intermedias (1500 a 4500 metros) y temperaturas de 200-400ºC; y los epitermales, formados a menos de 1500 metros y temperaturas de 50 a 200ºC (Robb, 2004). La temperatura y la profundidad juegan un papel muy importante en la deposición de minerales; entre mayor es la profundidad, la temperatura es mayor. Una disminución en la temperatura disminuye la solubilidad de los minerales y produce su precipitación.

Las condiciones de estabilidad termodinámica de los telururos de oro y plata indican un ambiente de depósito de tipo epitermal (Cook, 2009). En 1913 Lindgren definió una subclase de los depósitos epitermales en la cual incluyó los siguientes (Lindgren, 1913):

1. Depósitos de cinabrio: cinabrio, marcasita, estibina, hidrocarburos, cuarzo, ópalo, calcita en vetas, stock y diseminados.
2. Depósitos de estibina: estibina pirita y otros sulfuros además de cuarzo.
3. Depósitos de metales base: calcopirita, galena, zinc, blenda, tetraedrita en abundante ganga de cuarzo, carbonatos, o baritina; principales valores en oro y plata.
4. Depósitos de oro: oro nativo en aleación con plata, argentita subordinada, pirargirita, cuarzo.
5. Depósito de argentita y oro: argentita, pirargirita, tetraedrita, oro nativo, cuarzo y calcita.
6. Depósito de argentita: argentita, pirargirita, tetraedrita, cuarzo o calcita, baritina y fluorita.
7. Depósitos de telururos de oro: telururos de oro, cuarzo, o cuarzo y fluorita.
8. Depósitos de telururos de oro con alunita: telururos de oro, pirita, alunita y caolín.
9. Depósitos de seleniuros de oro: seleniuros de oro, pirita, cuarzo y calcita.

Como se mencionó anteriormente los depósitos epitermales pueden formarse a partir de distintos tipos de fluidos, por tanto, en estos su composición puede ser diferente. Estos depósitos se subdividen en baja sulfuración, los cuales son reducidos y tienen un pH cercano a neutro, y alta sulfuración, los cuales son más oxidados y ácidos (Hedenquist, 1987).

Los fluidos de baja sulfuración son una mezcla de aguas meteóricas que han percolado y de aguas magmáticas derivadas de una fuente de roca fundida a mayor profundidad de la tierra y que han ascendido hacia la superficie. Los metales han sido transportados en solución como iones complejos y precipitan cuando el fluido hierve al acercarse a la superficie. Los fluidos de alta sulfuración se derivan principalmente de una fuente magmática; este fluido puede contener minerales derivados directamente del magma o bien pueden ser metales lixiviados de las rocas volcánicas huésped por donde va pasando dicho fluido. Estos iones metálicos precipitan en la superficie cuando el fluido se enfría o se diluye al mezclarse con aguas meteóricas. Estos dos tipos de sistemas poseen características muy distintas entre sí, aunque ambos pueden coexistir. En la Figura 2 se muestra el modelo conceptual de los depósitos epitermales de baja y alta sulfuración propuesto por Sillitoe en 1995 (Camprubí y Albinson, 2006).

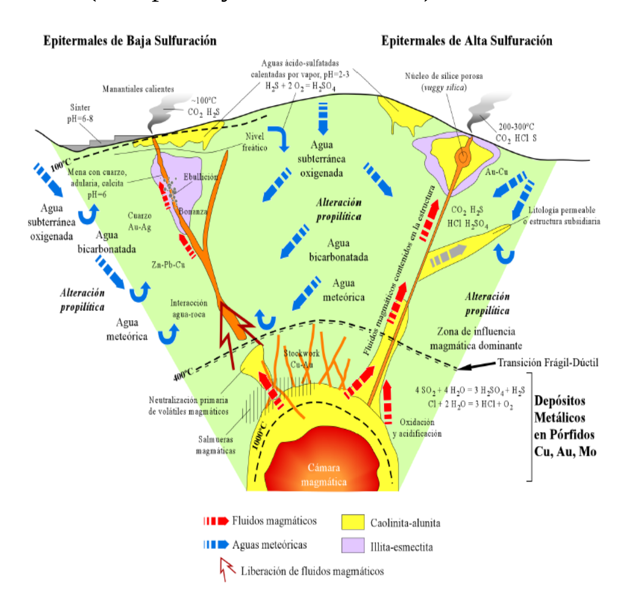


Figura 2.- Modelo conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja y alta sulfuración, propuesto por Sillitoe en 1995 basado en datos de Hedequist y Lowenstern, 1994; Gammons y Williams-Jones, 1997; y Corbett y Leach, 1998 (Camprubí y col., 2003).

En ambos depósitos los fluidos viajaron hacia la superficie terrestre a través de las fracturas de las rocas formando vetillas o bien por rocas permeables originando cuerpos mineralizados vetiformes. En la Tabla 1 se pueden comparar las características de los depósitos epitermales de baja y alta sulfuración.

Tabla 1.- Comparativa de las características de los depósitos epitermales de alta y baja sulfuración (Camprubí y col., 2003).

Reconocimiento meso- a microscópico	**Epitermales de alta sulfuración**	**Epitermales de baja sulfuración**
Minerales metálicos clave	Pirita, enargita–luzonita, calcopirita, calcosita, covelita, bornita, tetraedrita-tenantita, oro (esfalerita, galena, telururos). Arsenopirita: poco común. Sulfosales de Ag: raramente. Seleniuros: prácticamente ausentes. Bismutinita: ocasionalmente. Comunes.	Pirita, esfalerita, marcasita, galena, electrum, oro (sulfosales de Ag, arsenopirita, argentita, calcopirita, tetraedrita). Telururos: relativamente abundantes en algunos depósitos. Enargita: muy raramente. Seleniuros: poco Bismutinita: muy raramente
Datos analíticos	**Epitermales de alta sulfuración**	**Epitermales de baja sulfuración**
Profundidad de formación	En su mayor parte, entre 500 y 2,000 m bajo la paleosuperficie.	En su mayor parte, entre 0 y 1,000 m.
Rango de temperaturas de formación	Generalmente, entre 100–320ºC (la mayoría entre 170–320ºC, en ocasiones, hasta 480ºC).	Generalmente, entre 100–320ºC (la mayoría entre 150–250ºC).
Metales predominantes	Cu, Au, As (Ag, Pb).	Au, Ag (Zn, Pb, Cu).
Profundidad de formación	Bi, Sb, Mo, Sn, Zn, Te (Hg).	Mo, Sb, As (Te, Se, Hg).
Ejemplos	**Epitermales de alta sulfuración**	**Epitermales de baja sulfuración**
	Argentina: La Mejicana y Nevados del Famatina. Australia: Temora. Bulgaria: Chelopech, Srednogorie Chile: El Indio-Tambo. China: Zijinshan. Corea del Sur: Seongsan–Ogmaesan. España: Rodalquilar. EE.UU.: Goldfield, Paradise Peak, Summitville. Fiji: Mt. Kasi. Filipinas: Lepanto, Nalesbitan. Indonesia: Motomboto. Japón: Mitsumori–Nukeishi, Nansats. México: Mulatos, El Sauzal. Papúa-Nueva Guinea: Wafi River. Perú: Cahuarso, Cerro de Pasco, Julcani, Castrovirreyna. Suecia: Enåsen. Taiwan: Chinkuashih.	Argentina: Cerro Vanguardia, Manantial Espejo. Australia: Cracow, Mount Coolon. Canadá: Freegold Mountain, Toodoggone. Chile: Inca de Oro. China: Rushan. Corea del Sur: Jeongju–Buan. EE.UU.: Comstock(18), Creede, McLaughlin. Fiji: Emperor. Filipinas: Antamok–Acupan. Indonesia: Gunung Pongkor, Kelian. Japón: Hishikari. Marruecos: Imiter. México: Fresnillo, Guanajuato, Tayoltita, Temascaltepec, Topia. Papúa-Nueva Guinea: Ladolam, Porgera. Perú: Arcata, Casapalca, Caylloma, Orcopampa. Rusia: Bereznjakovskoje, Julietta. Turquía: Mastra y otros.

Los depósitos epitermales son de gran interés en la actualidad debido a que son grandes portadores de oro y plata, además de otros elementos como Zn, Pb, Cu, Cd, As, Sb, Bi, Se, Te, Ga, Ge, In, Tl, Mo y Sn (Camprubí y Albinson, 2006).

Depósitos Epitermales en México

En México se tienen localizados numerosos depósitos epitermales, muchos de los cuales se ha reportado que contienen telururos. Los depósitos epitermales más importantes se muestran en la Figura 3, mencionándose su nombre y ubicación a continuación.

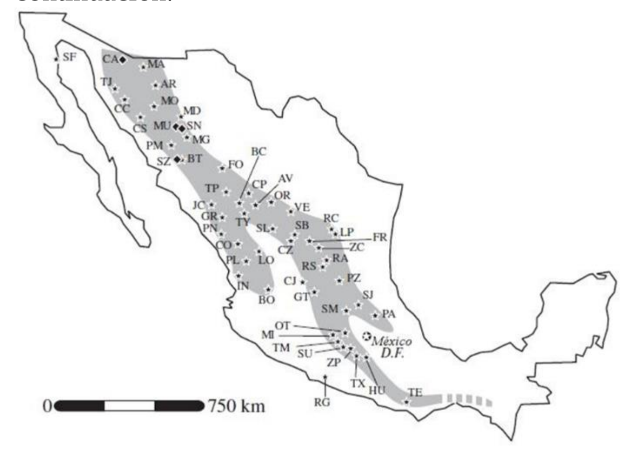


Figura 3.- Distribución geográfica de depósitos epitermales en México (Camprubí y Albinson, 2006).

Depósitos epitermales en México: (AR) Arizpe, Sonora. (AV) Avino, Durango. (BC) Bacís, Durango. (BO) Bolaños y San Martín de Bolaños, Jalisco. (BT) Batopilas, Chihuahua. (CC) Cerro Colorado, Sonora. (CJ) Comanja de Corona, Jalisco. (CO) Copala, Sinaloa. (CP). Cerro Prieto y Mantos, Durango. (CS) Colorada, Sonora. (CZ) Colorada, Zacatecas. (FO) San Francisco del Oro y Santa Bárbara, Chihuahua. (FR) Fresnillo, Zacatecas. (GR) Guadalupe de los Reyes, Sinaloa. (GT) Guanajuato, Guanajuato. (HU) Huautla, Morelos. (IN) El Indio, Nayarit. (JC) San José del Cobre, Durango/Sinaloa. (LO) Lluvia de Oro, Durango. (LP) La Paz, San Luis Potosí. (MA) Magallanes, Sonora. (MD) Mineral de Dolores, Chihuahua. (MG) Maguaríchic, Chihuahua. (MI) Miahuatlán e Ixtapan del Oro, estado de México. (MO) Moctezuma, Sonora. (MU) Mulatos, Sonora. (OR) Orito, Durango. (OT) El Oro – Tlalpujahua, estado de México/Michoacán. (PA) Pachuca – Real del Monte, Hidalgo. (PL) Plomosas, Sinaloa. (PM) Palmarejo, Chihuahua. (PN) Pánuco, Sinaloa. (PZ) Pozos, Guanajuato. (RA) Real de Ángeles, Aguascalientes. (RC) Real de Catorce, San Luis Potosí. (RG) Real de Guadalupe, Guerrero. (RS) Real de Asientos, Aguascalientes. (SB) Sombrerete, Zacatecas. (SF) San Felipe, Baja California Norte. (SJ) San Joaquín, Querétaro. (SL) Saladillo, Durango. (SM) San Martín, Querétaro. (SN) Santo Niño, Chihuahua. (SU) Sultepec y Amatepec, estado de México. (SZ) El Sauzal, Chihuahua. (TE) Tejomulco, Oaxaca. (TJ) Tajitos, Sonora. (TM) Temascaltepec, estado de México. (TP) Topia, Durango. (TX) Taxco, Guerrero. (TY) Tayoltita, Durango. (VE) Velardeña, Durango. (ZC) Zacatecas, Zacatecas. (ZP) Zacualpan, estado de México (Camprubí y Albinson, 2006).

Telururos en el Mundo

En los años 2003-2008 el Programa Internacional de Geociencias (IGCP) realizó el proyecto 486, el cual consistió en recabar información de los depósitos de oro de diferentes partes de mundo. Esto dio a conocer, entre otras cosas, más de 100 apariciones de teluro, así como importantes yacimientos de telururos en el mundo (Cook, 2009). Entre los más importantes depósitos se encuentran los siguientes:

- ✓ Cripple Creek, Estados Unidos de America
- ✓ Depósito Emperor y Tuvatu, Fiji
- ✓ Carpathians, Eslovaquia y Ucrania
- ✓ Golden Quadrilateral, Rumania
- ✓ Banatitic Magmatic and Metallogenic Belt, suroeste de Europa
- ✓ Panagyurishte district, Bulgaria
- ✓ Tien Shan y Altaids, Asia Central
- ✓ Volcanic-hosted massive sulphide deposits, the Urals
- ✓ Alpine-Yanshanian magmatism, China
- ✓ Fennoscandian and Ukrainian Shields

Teluro y Telururos en México

En 1923 el Instituto Geológico de México después de concluir algunos libros de clasificación mineralógica, entre ellos el tratado de mineralogía

de Dana, realizó un catálogo sistemático de especies minerales de México en donde mencionan los minerales de teluro y telururos. La Tabla 2 presenta las especies de teluro reconocidas en este catálogo y la Tabla 3 sus localizaciones (IGM, 1923).

Tabla 2.- Elemento nativos de teluro reconocidos en 1922 (IGM, 1923).

Nombre	Fórmula Química	Nombre	Fórmula Química
Selenteluro	Te y Se en masas	Golschmidtita	Au_2AgTe_6
Teluro	Te	Empressita	(Ag,Au)Te
Grünlingita	Bi_4TeS ó Bi (S, Te)	Altaíta	PbTe
Tetramidita	Bi_2Te_3	Coloradoíta	HgTe
Joseíta	Bi_3Te	Melonita	Ni_2Te_3
Wehrlita ó Pilsenita	Bi_3Te	Silvanita	$(Au,Ag)Te_2$
Orvetita	Bi_8TeS_4	Krennerita	$AuTe_2$
Stüitzita	Ag_4Te	Nagyarita	$Au_2Pb_{14}Sb_3Te_7S_{17}$
Rickardita	Cu_4Te_3	Von-Diestita	(Ag_2Au, Pb) Te, Bi_2Te_3
Kalgoorlita	$HgAu_2Ag_6Te_6$	Tapalpita	$3Ag_2(S, Te)$, $Bi_2(S,Te)_3$
Hessita	Ag_2Te	Telurita	TeO_2
Petzita	$(Ag,Au)_2$ Te		

Tabla 3.- Localización de telururos registrados en 1923 (IGM, 1923).

Estado	Distrito	Especies
Jalisco	Catón de Mascota Mun. de San Sebastián Mina el Refugio	Silvanita $(Au,Ag)Te_2$ Hessita Ag_2Te
	Catón de Sayula, Sierra de Tapalpa, Minas la Naricera, San Antonio, San Rafael, Rosario	Tapalpita $3Ag_2(S, Te)$, $Bi_2(S, Te)_3$
México	Dist. De Sultepec Mun. Tlatlaya. Mral. Los Ocotes Mina la Providencia	Silvanita $(Au,Ag)Te_2$
	Distrito Sultepec Mum y Mral de Tlatlaya Mina La Fama	Alcaita (PbTe)
Michoacán	Dist. de Morelia, Mun. de Curuscupaseo, Mina el Angel	Silvanita $(Au,Ag)Te_2$
Oaxaca	Dist. de Ocotlán, Mun. San Pedro Taviche	Kreennerita – Calaverita $AuTe_2$
Nayarit	Part. de Santiago Ixcuintla, Mun. de Santiago Ixcuintla, Rancho Acaponetilla	Hessita Ag_2Te
Guanajuato	Dist. de León, Sierra de San Pedro y San Pablo	Tetradimita $Bi_2(Te, S)_3$

Teluro y Telururos en Sonora, México

Mina La Bambolla

En 1934 en el estado de Sonora se encontró la mina La Bambolla, con alto contenido de teluro. En el período de 1935 a 1945, cuando se explotaba esta mina, se produjeron 2900 toneladas de oro. A pesar que este mineral contenía cantidades excepcionales de teluro, éste no fue pagado debido a su poco valor. De 1946 a 1960 la mina estuvo abandonada y las obras inundadas, pero en 1961, debido al surgimiento de aplicaciones en diseños termoeléctricos y electrónicos, aumentó la demanda de teluro, y por consecuencia, su precio, por lo que la Cía. Minera La Platina S.A. reacondicionó la obra y realizó estudios geológicos y muestreos con el objetivo de cubicar las reservas de mena de teluro

(Gaines, 1965). Esta mina se localiza a 12 km al suroeste de Moctezuma Sonora, en las coordenadas UTM: 624452 E y 3285397 N (SGM, 2014). Todas las rocas en los alrededores de la mina La Bambolla son de origen ígneo; desde el río Moctezuma a la Sierra Blanca existe una sucesión plegada y fallada de toba andesítica, ignimbrita, aglomerado y andesita, representado en la cartografía de la hoja madera por las unidades KsTe R-TR y Ks Te A–TA.

La Bambolla es un yacimiento de tipo epitermal (Aguayo, 1996), con un contenido de teluro muy alto. Se tiene noticia de que el mineral que se embarcó en los años 1937-1945 contenía de 10 a 10 kg Te/ton, encontrándose masas individuales de mineral de alta ley con un peso aproximado de 100 kg con un contenido de teluro mayor al 50%. Es la concentración más alta de teluro reportada hasta el momento (Gaines, 1965). En la actualidad esta mina no se encuentra en operación debido al bajo precio del oro.

Mina San Francisco

Se encuentra localizada en la parte central del norte del estado de Sonora, México, a 150 km al norte de Hermosillo. Es un yacimiento de tipo mesotermal, con una paragénesis metálica de Au-Te y valores anómalos de Pb, Mo, Bi y W. El oro se presenta en diferentes maneras, la más importante económicamente es en forma de placas intersticiales y el resto ligado al teluro (Perez-Segura, 1996).

Los telururos de esta zona fueron descritos por Pérez-Segura en 1989 y 1990. La mineralogía de referencia es petzita (Ag_3AuTe_2), hessita (Ag_2Te), silvanita ($[Au,Ag]Te_2$), calaverita ($AuTe_2$), altaíta ($PbTe$), telurio nativo (Te) y algunas especies raras llamadas informalmente San Francisco 1 ($TeAg_2S_3$), y San Francisco 2 ($Te_5[Pb,Bi]$) (Perez-Segura, 1996).

La relación Te/Au es igual a 1 y la paragénesis primaria resultante en teluros es más rica que en la mina la Bambolla (Aguayo, 1996). Actualmente, la mina se encuentra en operación con una reserva de 1.6 M de onzas de Au, pero si el precio del oro se mantiene en su rango actual durante el próximo año, la mina cerrará sus operaciones en primer semestre del 2017 (Timmins-Gold-Corp, 2015).

Mina Mulatos

El distrito Mulatos se localiza a 60 km al sureste del poblado de Sahuaripa, aproximadamente a 198 km al este-sureste de Hermosillo. Este yacimiento forma parte de un sistema de oro diseminado; es un depósito epitermal de alta sulfuración alojado dentro de un complejo de domo y brecha de flujo de riodacita de Oligoceno. Está relacionado con una zona grande de alteración hidrotermal que abarca más de 10 kilómetros cuadrados. La mineralización del oro está íntimamente asociada con la alteración silícica y argílica avanzada que se da cerca del contacto superior de un pórfido de riodacita y en flujos de dacita supra yacente y roca volcaniclástica (Minas-de-Oro-Nacional-S.A.C.V., 2015).

Este depósito contiene oro libre, Au-pirita, enargita, esfalerita y, con menos frecuencia, tennantita, Au-teluro, covelita y calcopirita. Las concentraciones elevadas de Ag, As, Au, Ba, Cu, Hg , Mo , Sb , y Te son comunes en la zona de alteración de 2 kilómetros que rodea los centros mineralizados (Staude, 1995).

Se tiene registrado que hasta 1903 este distrito había producido más de 300,000 onzas de oro. En 1987 el distrito fue reevaluado por Minera Real de Ángeles y posteriormente fue comprado por Placer Dome en 1993, la cual se asoció con Minera Kennecott en 1994, cubicándose en esos años alrededor de 52 millones de toneladas con 1.5 g/t de Au, utilizando una ley mínima de corte de 0.8 g/t de Au. En 1999 las reservas fueron reevaluadas en 43.5 millones de toneladas con 1.59 g/t de Au con recursos globales de 68 millones de toneladas con 1.6 g/t de Au. Otras reservas estimadas en el distrito son las de las minas de El Víctor, con 12 Mt con 1.4 g/t de Au, San Carlos con 5 Mt con 2 g/t de Au y Taunas con 5 Mt con 2 g/t de Au (Ochoa-Landín, 2011). En la actualidad esta mina sigue operando con regularidad beneficiando exclusivamente oro y plata.

Proyecto Tajitos

El proyecto de oro Tajitos se encuentra ubicado a

313 km hacia el noroeste de Hermosillo, Sonora, y es propiedad de Riverside Resource. Los trabajos realizados confirmaron valores de oro de alto grado en vetas de cuarzo y valores anómalos de oro en zonas de falla. El muestreo geoquímico de roca por esquirla en los sistemas de vetas de gama Tajitos indica de < 0. 005 a 34.74 g Au/t y de < 0.1 a 383 g Ag/t en anchos que van de 0.5 a 3.0 metros (Riverside-Reosurces, 2014).

Los análisis geoquímicos representativos de las vetas de Tajitos reportan valores de teluro entre 1 y 105 g/t; estos valores son notablemente superiores a los que se encuentran en San Francisco. Es muy probable que un trabajo muy detallado al microscopio minerográfico y a la microsonda electrónica permita identificar minerales de teluro en Tajitos (Aguayo, 1996).

Otros lugares

Existen otros yacimientos en exploración en Sonora en los cuales se han encontrado teluro en mínimas concentraciones, como por ejemplo La Choya, Quitovac, Sierra Pinta, San Félix, La Gloria, El Tiro (Aguayo, 1996). La ubicación de estos yacimientos se muestra en la Figura 4.

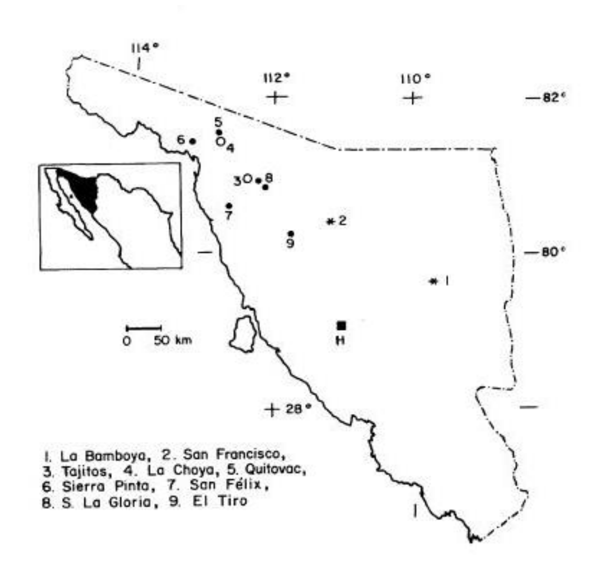


Figura 4.- Yacimientos de interés de teluro en Sonora (Aguayo, 1996). (*) Localidades con minerales de teluro, (°) Localidades con anomalías de teluro, (•) Localidades con posibles anomalías de teluro y (▪) Hermosillo.

Conclusiones

Los depósitos hidrotermales y en especial los epitermales son una buena fuente de teluro y telururos. En México existe una cantidad importante de este tipo de yacimientos, los cuales, además de oro y plata, contienen teluro que actualmente no se beneficia y queda en los terreros o jales. El reto tecnológico que representa la extracción de metales preciosos en este tipo de minerales, así como el incremento en el precio del teluro y el surgimiento de nuevas aplicaciones para estos materiales hacen de este tema una prioridad para la industria extractiva en México y en el mundo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CINVESTAV por el apoyo otorgado para asistir al congreso, así como al CONACYT por la beca posgrado otorgada a P.C. Santos-Munguía.

Bibliografía

Gaines, R.V. (1965). Estudios mineralogicos. Boletín de la Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología. 75, 36.

Weeks, M.E. (1935). The Discovery of Tellurium. Journal Of Chemical Education. 12(9), 403-409.

Sharpe, A.G. (1993). Química Inorgánica. Editorial Reverté, México.

Chizhikov, D.M., Shchastlivyi, V.P. (1970). Tellurium and The Tellurides. Collets.

U.S. Geological Survey. (2015). Mineral Commodity Summaries. January 2015.

Tiekink, E.R.T. (2012). Therapeutic potential of selenium and tellurium compounds: Opportunities yet unrealised. Dalton Transactions, 41(21), 6390-6395.

Anderson, C.S. (2015). Selenium and Tellurium. USGS Sciencie for a changing world. Vol. 1. Commodity Report

Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Spry, P.G., Voudouris, P. (2009). Understanding gold-(silver)-telluride-(selenide) mineral deposits. Episodes 32(4), 249-263.

Robb, L. (2004). Introduction to ore forming processes.Blackwell Publishing.

Lindgren, W. (1913). Mineral Deposits. McGraw-Hill Book.

Hedenquist, J.W. (1987). Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the circum-pacific basin. Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference. Chapter 44.

Camprubí, A., Albinson, T. (2006). Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Boletín de la Sociedad Geologógica Mexicana. LVIII(1), 27-81.

Camprubí, A., González-Partida, E., Levresse, G., Tritlla, J., Carrillo-Chávez, A. (2003). Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. Boletín de la Sociedad Geologógica Mexicana, LVI(1), 10-18.

IGM. (1923). Catálogo Sistemático de Especies Minerales de México y sus Aplicaciones Industriales. Boletín del Instituto Geológico de México. 40.

SGM. (2014). Panorama Minero del Estado de Sonora. Servicio Geológico Mexicano. Diciembre 2014.

Aguayo, S., Pérez, E., Encinas, M.A. (1996). Recursos y alternativas de tratamiento para los minerales de teluro de Sonora, México. Revista Metalurgica de Madrid, 32(1), 33-39.

Perez-Segura, E.,Cheilletz, A., Herrera-Urbina., Hanes, Y.J. (1996). Geología, mineralización, alteración hidrotermal y edad del yacimiento de oro de San Francisco, Sonora- Un depósito mesotermal en el noroeste de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas., 13(1), 65-89.

Timmins-Gold-Corp. (2015). Timmins Gold Corp, Projects, San Francisco. Página de internet. Consultado Marzo 2016.http://www.timminsgold.com/projects/san_francisco/

Minas-de-Oro-Nacional-S.A.-de-C.V. (2015). Proyecto Mina Mulatos. Página de internet. http://es.alamosgold.com/es/nuestras-minas-proyectos/proyecto-mulatos Marzo 2016.

Staude, J.M.G. (1995). Epithermal mineralization in the Sierra Madre Occidental, and the metallogeny of northwestern México.Tesis de doctorado. The University of Arizona.

Ochoa-Landín, L., Pérez-Segura, E., Del Río-Salas, R., Valencia-Moreno, M. (2011). Depósitos minerales de Sonora, México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 118(9), 299-331.

Riverside-Reosurce-INC. (2014). Tajitos - Tejo Gold Project. Página de internet. Consultada Marzo 2016. http://www.rivres.com/index.php/